علوم الطبيعة والحياة

العدد 02

# العلاقة بين بنية ووظيفة البروتين

معلومات شاملة، دقيقة، سهلة الفهم والحفظ
رسومات تخطيطية نموذجية للامتحان بخط اليد

# مجلة المجتهد


إعداد الأستاذ: بن خريف مصطفى

ثانوية الرائد بعرير محمد العربي بعين الملح - المسيلة

مراجعة الأستاذ: بواريش أحمد

ثانوية: متقن القل - سكيكدة


التحضير الجيد للبكالوريا

## مقدمة

... في مرحلة النهاية لعملية الترجمة تنفصل السلسلة الببتيدية المتشكلة عن الريبوزوم. وفي الشبكة الهيولية الداخلية المحببة أو الجسيمات الريبية لجهاز كولجي، تتحلزن هذه السلسلة وتلتف وتتماسك على شكل بنية فراغية ثلاثية الأبعاد مميزة (تكتسب تخصصا بنيويا) فتصبح بذلك بروتينا يؤدي وظيفة محددة داخل الخلية او خارجها (تخصص وظيفي)

### الأسئلة المحورية للوحدة

-1 ما الذي يحدد البنية الفراغية للبروتين؟

-1 ما هو دور الأحماض الأمينية في ذلك؟

-1 ما هي العلاقة بين بنية ووظيفة البروتين؟

### مخطط الوحدة

مستويات البنية الفراغية للبروتين: درجات تعقيده

الأحماض الأمينية: الوحدة البنائية للبروتين

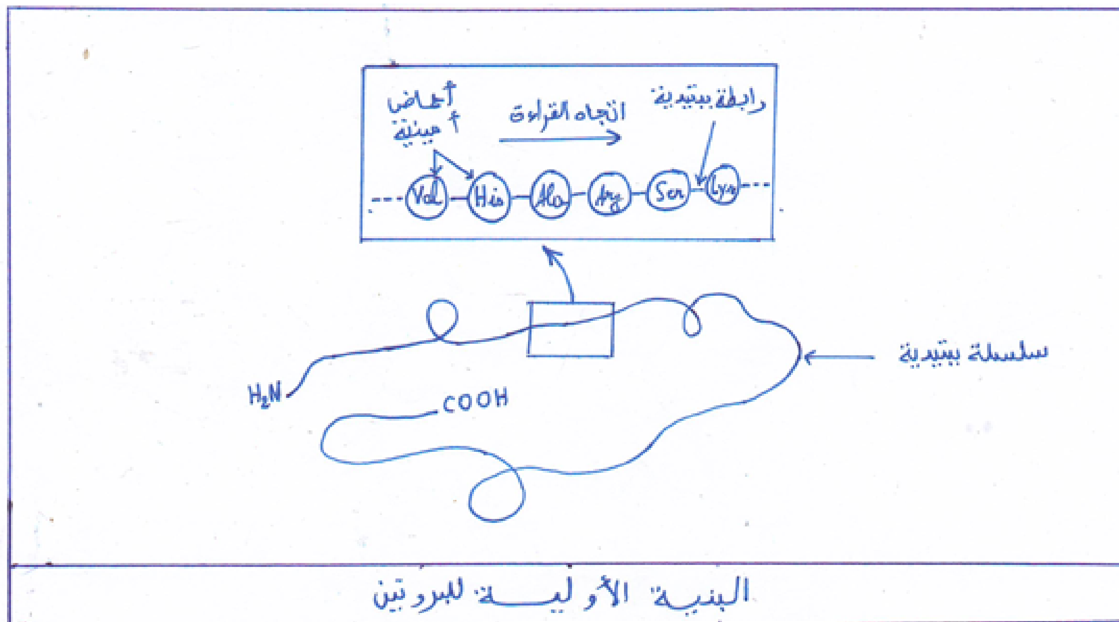
العلاقة بين بنية ووظيفة البروتين

### البرنامج راستوب

برنامج يستعمل لتمثيل البنية الفراغية للبروتينات بشكل مفصل على شكل نماذج أهمها: نموذج الكرة (النموذج المكدس)، نموذج العود، نموذج الكرة والعود، النموذج الشريطي.

## 01 – مستويات البنية الفراغية للبروتين

**البنيـة الأوليـة:** عبـارة عـن سلسـلة ببتيديـة مكونـة مـن تتابـع عـدد ونـوع مـن الأحمـاض الأمينيـة مرتبطـة بروابـط بيبتيديـة.




البنيـة الأوليـة للبروتين

**البنيـة الثانويـة:** هـي انطـواء السلسـلة الببتيديـة ذات البنيـة الأوليـة فـي مناطـق محـددة بشـكل حلزونـي أو ورقـي، تفصـل بينهـا مناطـق بينيـة:

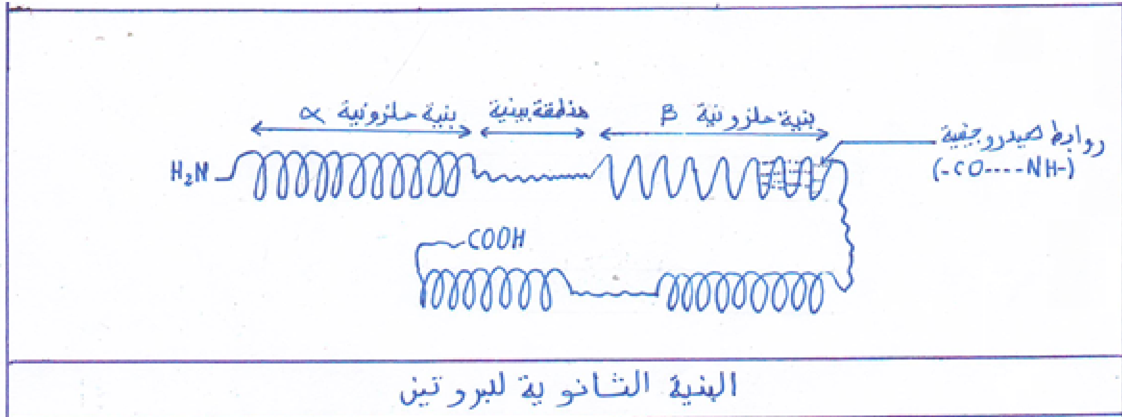
- البنية الثانوية α (البنية الحلزونية): عندما يكون الالتفاف حلزونيا.

- البنية الثانوية β (البنية الورقية): عندما يكون الانطواء على شكل ورقات مطوية.

المناطق البنية: هي بنيات غير منتظمة تربط البنيات الثانوية α و β.

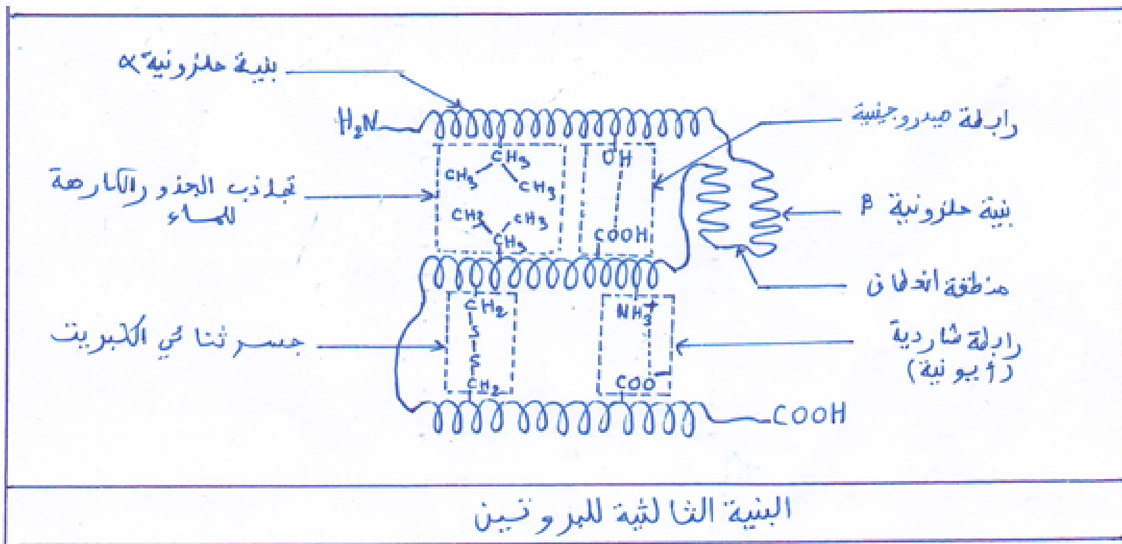
**- معلومـة إضافيـة: المناطـق البينيـة ذات طـول مختلـف، وتتركـب مـن 2 إلـى 20 حمضا أمينيا مـن نـوع: Gly و Pro أساسا.**

- تنتـج هـذه البنيـة و تبقـى مسـتقرة بواسـطة روابـط هيدروجينيـة تنشـأ بيـن الوظائـف الكربوكسـيلية -CO- والأمينيـة -NH- للروابـط الببتيديـة.




البنية الثانوية للبروتين

**البنية الثالثية:** سلسلة ببتيدية محتوية على عدد من أحد البنيات الثانوية α أو β أو كليهما، ومنطوية في مستوى المناطق البينية التي تصبح مناطق الانعطاف.




البنية الثالثية للبروتين

- الروابط الكيميائية المساهمة في تشكل واستقرار البنية الثالثية: أربع (04) أنواع: الرابطة الهيدروجينية، الرابطة الشاردية، تجاذب الجذور الكارهة للماء والرابطة الكبريتية.

تنشأ هذه الروابط بين الوظائف الجانبية للأحماض الأمينية في السلسلة الببتيدية، تصنف كما يلي:

روابط غير تكافؤية: ضعيفة

- الرابطة الهيدروجينية: تنشأ بين الوظائف الكيميائية الكربوكسيلية (-COOH) والكحولية (-OH).

- الرابطة الشاردية: تنشأ بين الوظائف القطبية (التي تتأين)، السالبة ($-COO^-$) والموجبة ($-NH_3^+$). أي بين الأحماض الأمينية الحمضية والقاعدية.

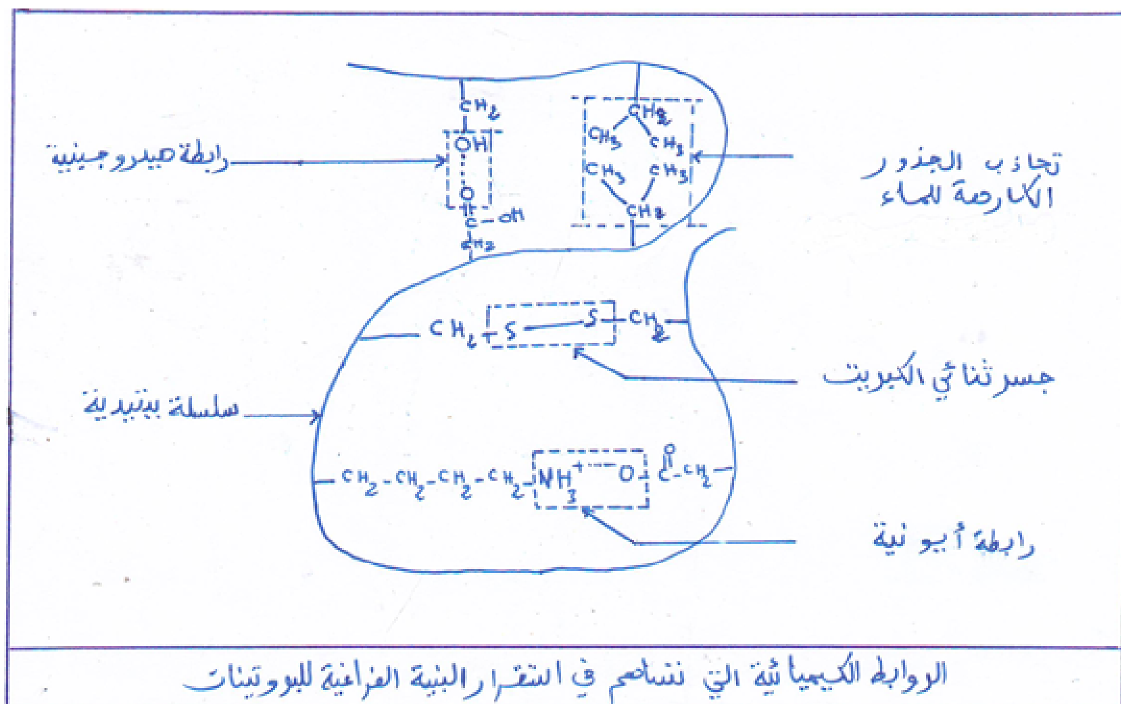
صيغتها الكيميائية: ــ $COO^-$-----$NH_3^+$ ــ

- تجاذب الجذور الكارهة للماء: تنجذب الجذور الكارهة للماء (اللاقطبية: التي لا تتأين) وتتجمع في مركز جزيئة البروتين كي لا تكون على تماس مع الماء. يمكن أن تشكلها (09) أنواع من الأحماض الأمينية وهي: والأحماض الأمينية الأليفاتية (السلسلة الجانبية عبارة عن جذر ألكيلي): غليسين (Gly)، ألانين (Ala)، فالين (Val)، لوسين (Leu)، إيزولوسين (Ile)، برولين (Pro). والأحماض الأمينية العطرية: الفينيل ألانين (Phe)، التريبتوفان (Trp). والحمض الأميني الكبريتي: الميثيونين (Met).

روابط تكافؤية: قوية

- الرابطة الكبريتية (جسر ثنائي الكبريت): تنشأ بين الجذور الكبريتية للأحماض الأمينية من نوع السيستيين (Cys).

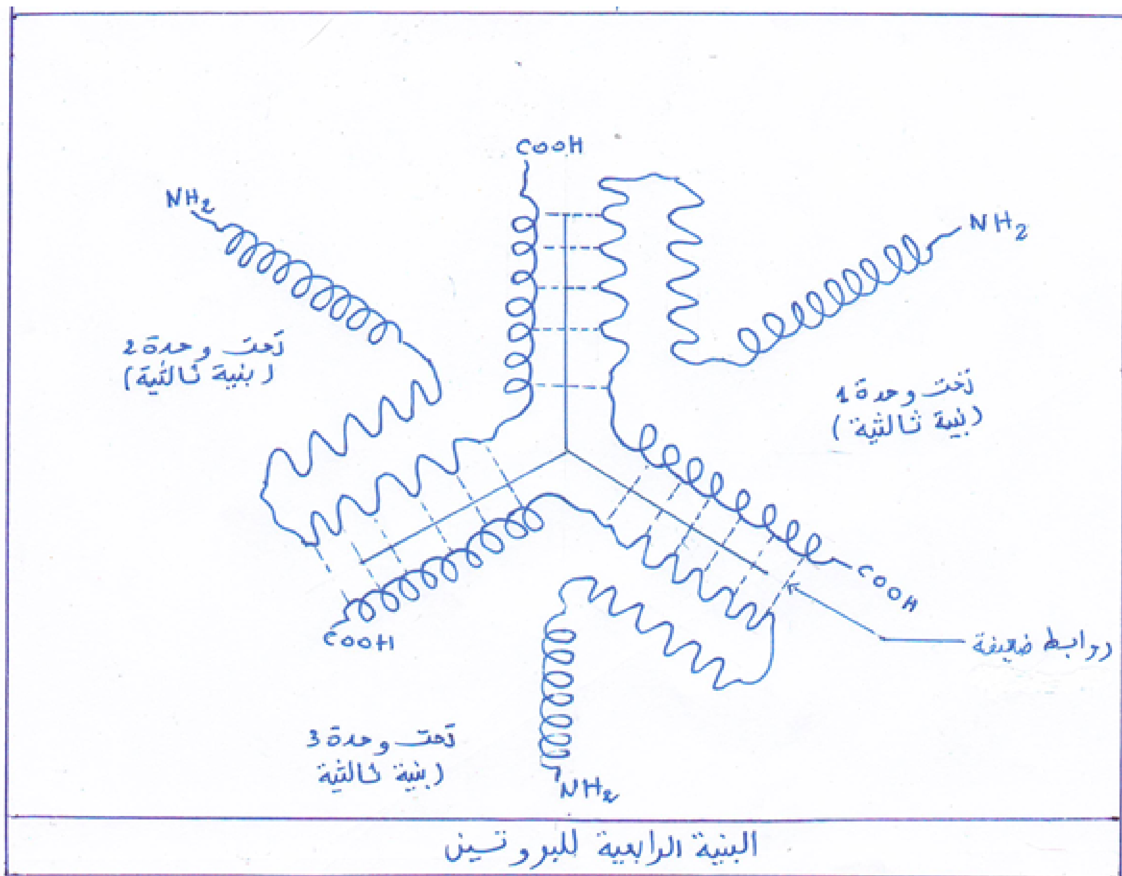
- صيغتها الكيميائية: ــ CH2 ــ S ـــ S ــ CH2ــ




الروابط الكيميائية التي تساهم في استقرار البنية الفراغية للبروتينات

**البنيـة الرابعيـة:** هـي ارتبـاط سلسـلتين أو أكثـر ذات بنيـة ثالثيـة بروابـط ضعيفـة، تسـمى كل منهـا بتحـت الوحـدة.

- ملاحظـة: تحـت وحـدات البنيـة الرابعيـة لا يشـترط أن تكـون متماثـلة، مثلمـا هـو موضـح فـي الرسـم.



البنية الرابعية للبروتين

- الهـدف مـن انتقـال بنيـة البروتيـن مـن مسـتوى إلـى مسـتوى أكثـر تعقيـدا هـو: الوصـول بنيتـه الوظيفيـة.

## 02 – الأحماض الأمينية

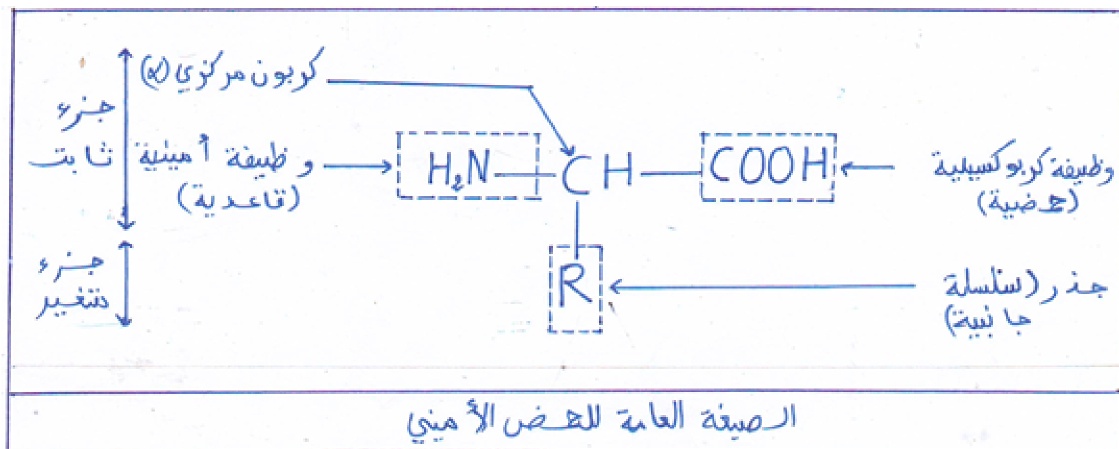
**تعريف الحمض الأميني:** مركب عضوي آزوتي (يحتوي على الآزوت N)، يتركب من كربون مركزي α مرتبط به: وظيفة كربوكسيلية -COOH، وظيفة أمينية $-NH_2$ وهما جزء ثابت، وكذلك جذر R يمثل جزأه المتغير. صيغته العامة $R\text{-}CHNH_2\text{-}COOH$. يتميز بالخاصية الأمفوتيرية (الحمقلية).

أهميتها: هي الوحدة البنائية للبروتينات.

ملاحظة: يسمى بالكربون المركزي α لأنه مرتبط بأربع وظائف مختلفة: -H, -R, -COOH, $-NH_2$.

- الحمض الأميني Gly لا يحتوي كربون مركزي α، لأنه مرتبط بـ 2H.

**معلومة إضافية (الكشف عن الأحماض الأمينية): نستعمل الكاشف النينهيدرين فيتلتون المحلول بالبنفسجي.**




الصيغة العامة للحمض الأميني

**تصنيف الأحماض الأمينية**

- معيار التصنيف هو الجذر R، وتقسم الـ 20 حمض الأميني المركبة للبروتينات إلى ثلاث مجموعات:

- أحماض أمينية متعادلة (معتدلة)

التعليل: لأنها تحمل عددا متساويا من الوظائف الحمضية والقاعدية ($COOH = -NH_2$).
عددها (15) وهي:

أحماض أمينية أليفاتية (06): غليسين (Gly)، ألانين (Ala)، فالين (Val)، لوسين (Leu)، إيزولوسين (Ile)، برولين (Pro).

ملاحظة: البرولين (Pro) لا يصنف حمضا أمينيا قاعديا لأنه يحمل في السلسلة الجانبية وظيفة أمينية ثانوية (-NH-) وليس وظيفة أمينية أولية ($-NH_2$)، وبالتالي لا يمكنه اكتساب بروتون على مستواها.

أحماض أمينية عطرية (03): فينيل ألانين (Phe)، تريبتوفان (Trp)، تيروزين (Tyr).

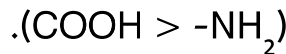
أحماض أمينية أميدية (02): تحمل وظيفة أميدية ($-CONH_2$) التي تختلف عن الوظيفة الأمينية ($-NH_2$): أسبارجين (Asp)، غلوتامين (Gln).

أحماض أمينية كبريتية (02): سيستيين (Cys)، ميثيونين (Met).

أحماض أمينية هيدروكسيلية (كحولية) (02): سيرين (Ser)، ثريونين (Thr).

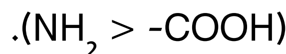
- أحماض أمينية حمضية (02): حمض الغوتاميك (Glu)، حمض الأسبارتيك (Asp).

التعليل: لأنها تحمل عددا من الوظائف الحمضية أكبر من الوظائف القاعدية:


$(COOH > -NH_2)$.

- أحماض أمينية قاعدية (03): ليزين (Lys)، أرجنين (Arg)، هيستيدين (His).

التعليل: لأنها تحمل عددا من الوظائف الأمينية أكبر من الوظائف الحمضية


$(NH_2 > -COOH)$.

ملاحظة: تحفظ الأحماض الأمينية الحمضية (02) والقاعدية (03) فقط.

**خـواص الحمـض الأمينـي:** خاصيتيـن أساسـيتين همـا: الخاصيـة الأمفوتيريـة (الحمقلية)، ونقطـة التعـادل الكهربائـي.

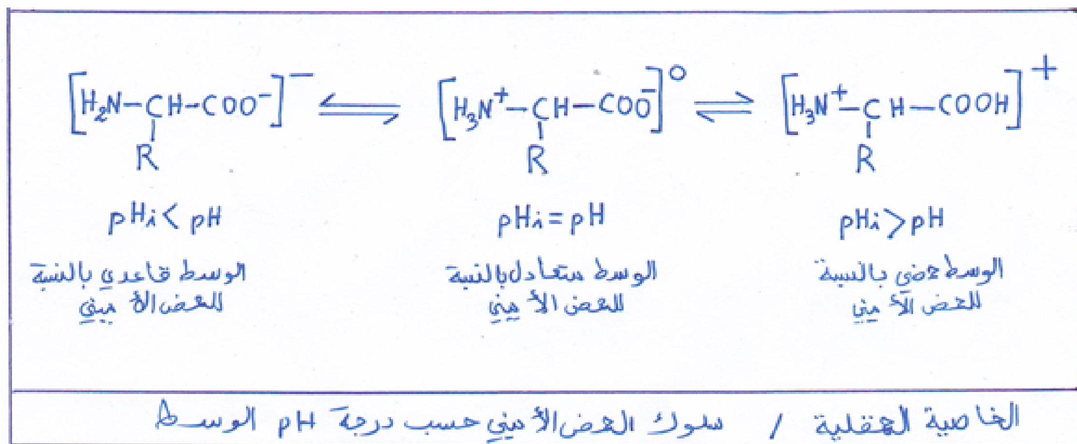
## الخاصية الأمفوتيرية (الحمقلية)

- مفهومهـا: يسـلك الحمـض الأمينـي سـلوك الحمـض فـي الوسـط القاعـدي (يحـرر بروتونـا $H^+$)، وسـلوك القاعـدة فـي الوسـط الحمضـي (يكتسـب بروتونـا).

- مصدرهـا: احتـواء الحمـض الأمينـي علـى وظيفتيـن (علـى الأقـل): كربوكسـيلية (حمضيـة) – COOH وأمينية (قاعديـة) –$NH_2$، وهـي وظائـف «ضعيفـة» يمكنهـا أن تفقـد أو تكتسـب بروتونـا $H^+$ (علـى الترتيـب).

ملاحظـة: تتميـز الببتيـدات كذلـك بالخاصيـة الأمفوتيريـة لاحتوائهـا علـى وظائـف كربوكسـيلية وأمينيـة فـي السلاسـل الجانبيـة (R) للأحمـاض الأمينيـة الحمضيـة والقاعديـة المركبـة لهـا، بالإضافـة للوظيفتيـن الطرفيتيـن.

**- معلومـة إضافيـة (أهميـة الخاصيـة الأمفوتيريـة فـي العضويـة): تسـاهم البروتينـات بخاصيتهـا الأمفوتيريـة فـي ثبـات درجـة حموضـة متعادلـة للوسـط الداخلـي (الـدم).**




## نقطة التعادل الكهربائي pHi

- مفهومهـا: هـي درجـة pH الوسـط التـي يكـون فيهـا الحمـض الأمينـي متعـادل كهربائيـا، أي عدد الشـحنات الموجبـة يسـاوي عـدد الشـحنات السـالبة (درجـة الحموضـة التـي يبقـى فيهـا الحمـض الأمينـي فـي منتصـف شـريط الفصـل فـي جهـاز الهجـرة الكهربائيـة).

- يتميز كل حمض أميني بـ pHi خاصة به تختلف عن الأحماض الأخرى (وهي قيمة ثابتة لكل حمض).

- نقطة الـ pHi تحدد صنف الحمض الأميني والعكس صحيح

- الأحماض الأمينية المعتدلة تتميز بـ pHi يقارب 7 (قيمتها بين 5 و 6).

- الأحماض الأمينية الحمضية تتميز بـ pHi أقل بكثير من 7 (حمض الأسبارتيك: 2,7، الغلوتاميك: 3,2).

- الأحماض الأمينية القاعدية تتميز بـ pHi أكبر من 7 (هيستيدين: 7,6، ليزين: 9,7، أرجنين: 10,7).

## سلوك الحمض الأميني

- مفهوم سلوك الحمض الأميني: هي الحالة الشاردية (شحنته) التي يكتسبها في وسط ذو pH معين. أو هي هجرته على شريط الفصل في جهاز الهجرة الكهربائية في وسط ذو pH معلومة. بعبارة أبسط: إذا طلب تحديد سلوك الحمض الأميني يعني تحديد الشحنة التي يكتسبها، واتجاه هجرته في شريط الفصل.

- يتغير سلوك الحمض الأميني بتغير درجة حموضة الوسط (pH).

- قاعدة لتفسير (تحديد) سلوك الحمض الأميني: المقارنة pH / pHi

- pH>pHi: الحمض الأميني في وسط قاعدي «بالنسبة له»، وبالتالي يسلك سلوك الحمض (يفقد $H^+$)، فيكتسب شحنة سالبة (-) ويهاجر نحو القطب الموجب (+).

- pH<pHi: الحمض الأميني في وسط حمضي «بالنسبة له»، وبالتالي يسلك سلوك القاعدة (يكتسب $H^+$) فيكتسب شحنة موجبة (+) ويهاجر نحو القطب السالب (-).

- pH=pHi: الحمض الأميني في حالة متعادلة مع الوسط، وبالتالي يفقد ويكتسب بروتونا في نفس الوقت، فتكون شحنته معدومة ولا يهاجر إلى أي من القطبين (يبقى في منتصف شريط الفصل).

ملاحظة: هذه قاعدة مهمة يجب استعمالها دائما لتفسير سلوك الحمض الأميني، أو على الأقل ذكر المقارنة pHi/pH.

تقنية الهجرة الكهربائية (الرحلان الكهربائي)

مبدأ التقنية: هجرة الجزيئات القطبية (القابلة للتأين كالأحماض الأمينية والبروتينات) في وسط ذو درجة pH معلومة.

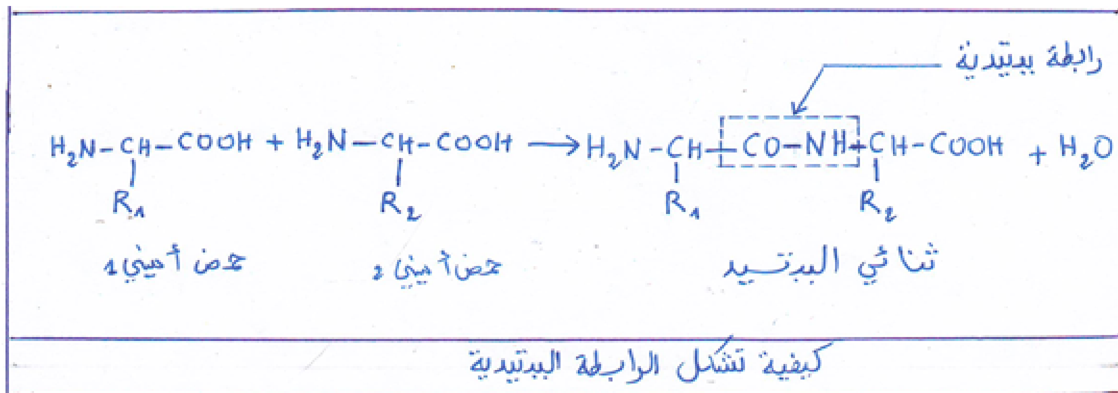
أهميتها: فصل الأحماض الأمينية والببتيدات ودراسة سلوكها في الوسط حسب درجة الـ pH.

### الرابطة الببتيدية

- كيفية تشكلها: تتشكل من ارتباط مجموعة الكربوكسيل للحمض الأميني الأول ومجموعة الأمين للحمض الأميني الثاني وتحرير جزيئة ماء.

- صيغتها الكيميائية: -CO-NH-

- نوعها: رابطة تكافؤية (قوية).




كيفية تشكل الرابطة الببتيدية

- الفرق بين متعدد الببتيد والبروتين: هو «الوظيفة»، فمتعدد الببتيد لا يزال في طور التشكل، أو عبارة عن أحد السلاسل المركبة للبروتين. أما البروتين فهو يتميز ببنية فراغية وظيفية.

- نسمي بروتيد كل ما هو بروتيني: أحماض أمينية وببتيدات وبروتينات.

# 03 - العلاقة بين البنية الفراغية ووظيفة البروتين

**تعريف البنية الفراغية للبروتين:** شكل ثلاثي الأبعاد ثابت ومستقر، ينتج عن ارتباط عدد ونوع وترتيب محدد من الأحماض الأمينية، يكسب البروتين تخصصا وظيفيا.

## - الأحماض الأمينية تحدد البنية الفراغية للبروتين ووظيفته

عدد ونوع وترتب الأحماض الأمينية المركبة للبروتين تحدد بنيته الفراغية، حيث تنشأ بين جذورها روابط كيميائية في مواقع معينة (كبريتية، هيدروجينية وشاردية) تحدد البنية الفراغية للبروتين وبالتالي وظيفته.

## - بنية البروتين محددة وراثيا

تحدد المعلومات الوراثية عدد ونوع وترتيب الأحماض الأمينية المركبة للبروتين. تنشأ بين هذه الأحماض الأمينية روابط كيميائية في مواضع محددة بدقة في السلسلة الببتيدية (هيدروجينية، ثنائية الكبريت، شاردية وتجاذب الجذور الكارهة للماء)، فتنتج بنية ثابتة ومستقرة للبروتين تكسبه وظيفته.

صيغة أخرى: تغير المعلومة الوراثية (حدوث طفرة) يؤدي إلى تغير تسلسل الأحماض الأمينية في السلسلة الببتيدية. وبالتالي تتفكك بعض الروابط الكيميائية أو تنشأ في غير مواضعها، فتتغير البنية الفراغية للبروتين ويفقد تخصصه الوظيفي.

## - درجة الـ pH تؤثر على البنية الفراغية للبروتين

عند تغير درجة الـ pH تتأين الوظائف الكربوكسيلية أو الأمينية الجانبية (تتغير شحنتها)، مما يؤدي لتفكك الروابط الكيميائية بين هذه الأحماض الأمينية التي تساهم في استقرار بنية البروتين، وبالتالي يفقد البروتين بنيته الفراغية.

# خلاصة شاملة للوحدة

## العلاقة بين البنية ثلاثية الأبعاد للبروتين وتخصصه الوظيفي

الإجابة المباشرة: البنية الفراغية للبروتين تحدد وظيفته.

الإجابة على شكل نص علمي مختصر، نشرح النقاط المتسلسلة التالية:

- المعلومة الوراثية تحدد عدد ونوع ترتيب الأحماض الأمينية المشكلة للبروتين.
- عدد ونوع وتتابع الأحماض الأمينية يحدد بنية البروتين.
- بنية البروتين تحدد الوظيفة.

كالآتي:

يتكون البروتين من عدد ونوع وترتيب محدد وراثيا من الأحماض الأمينية، ينشأ بينها روابط كيميائية في مواضع دقيقة في السلسلة الببتيدية على مستوى الوظائف الكيميائية المختلفة للجذور الجانبية: روابط غير تكافؤية ضعيفة (هيدروجينية، شاردية وتجاذب الجذور الكارهة للماء) وروابط تكافؤية قوية (جسور ثنائية الكبريت)، فيكتسب البروتين بنية فراغية ثابتة ومستقرة تسمح له بالقيام بوظيفة معينة في الخلية.

ملاحظة: العبارة «المفتاح» لحل أسئلة العلاقة بين البنية والوظيفة، والتي يجب تذكرها دائما في الموضوع هي: "عدد ونوع وترتيب الأحماض الأمينية" لأن هذا ما يحدد البنية الفراغية البرويتن وبالتالي وظيفته، وكذلك يفسر التنوع الكبير للبروتينات المتشكلة من 20 حمضا أمينيا فقط.

الحمد لله رب العالمين

وصلى الله وسلم وبارك على سيدنا محمد وعلى آله وصحبه إلى يوم الدين

# من نفس السلسلة





























**الأستاذ : بن خريف مصطفى**
mustapha.benkherif@gmail.com


2017/2016



تصميم شبكة الدكتور لعباشي لمين
www.labachi.com